



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 198 51 749 A 1**

61 Int. Cl. 7:
G 02 B 13/24
G 02 B 13/14
G 03 F 7/20

21 Aktenzeichen: 198 51 749.1
22 Anmeldetag: 10. 11. 1998
43 Offenlegungstag: 11. 5. 2000

DE 198 51 749 A 1

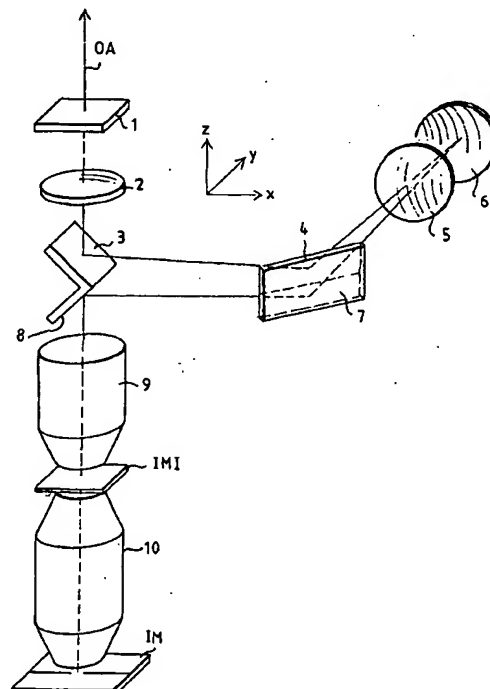
71 Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

72 Erfinder:
Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbrunn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Polarisationsoptisch kompensiertes Objektiv

57 Bei einem Objektiv - vorzugsweise ein katadioptrisches Projektionsobjektiv der Mikrolithographie - werden polarisationsabhängige Effekte hinsichtlich Strahl-Geometrie und Phase, wie sie durch die unterschiedliche Reflexion in Abhängigkeit von der Polarisationsrichtung bezogen auf die Reflexionsebene entstehen können, durch Anpassung dielektrischer Reflexschichten oder durch zusätzliche nicht komplanare Umlenkungen kompensiert.



DE 198 51 749 A 1

Zur Belichtung von Mikrostrukturen mit hoher Auflösung in Resists sind hohe numerische Aperturen (z. B. 0,6–0,8) vorteilhaft.

Dabei ist es dann zur Vermeidung störender Reflexionen und anderer Störungen erforderlich, daß die Polarisierung der Lichtstrahlen bezüglich der optischen Achse rotationssymmetrisch ist. Geeignet sind also radiale Polarisierung (vgl. DE 195 35 392) – und auch zirkulare Polarisierung, sowie unpolarisiertes Licht.

Linear polarisiertes Licht wird generell als ungeeignet angesehen, da es richtungsabhängige Effekte bewirkt. Ausnahmen sehen die gezielte Anpassung der Polarisationsrichtung an die Strukturrichtung vor.

Umlenkspiegel zeigen für in der Einfallsebene polarisiertes und senkrecht dazu polarisiertes Licht einen Versatz des austretenden Lichtstrahls und Phasenverschiebungen durch unterschiedliche Wechselwirkung des elektromagnetischen Feldes mit der spiegelnden Grenzfläche.

Katadioptrische Projektionsobjektive mit Strahlteiler vom Typ der DE 196 39 586 A (US Serial No. 08/929,913) und darin angegebener Zitate haben dies Problem nicht, da ohnehin wegen des Polarisationsstrahlteilers linear polarisiertes Licht verwendet werden muß (und erst danach die Polarisierung z. B. mit einer Lambdaviertelplatte geändert werden kann).

Anders ist das beispielsweise bei den katadioptrischen Projektionsobjektiven vom Typ des abgewandelten Schupmann-Achromaten u. a. nach EP 0 736 789 A2.

Beispielsweise zeigt EP 0 736 789 A2 in Fig. 6 und 9 je zwei Umlenkspiegel ($M_0, M_2; M_2, M_3$), wobei einer ($M_2; M_2$) zur Separation der zu dem Konkavspiegel (M_1) gehenden und davon zurücklaufenden Lichtbündel dient und der andere ($M_0; M_3$) die Parallellage von Reticle und Wafer ermöglicht. Werden diese Spiegel mit einer Mischung von in der Einfallsebene und senkrecht dazu polarisiertem Licht – also z. B. mit unpolarisiertem, zirkular oder elliptisch polarisiertem oder radial polarisiertem – beleuchtet, so ergibt die Umlenkung um rund 90° jeweils einen Seitenversatz der den beiden Polarisationsrichtungen zugeordneten Strahlanteile, der sich bei beiden Spiegeln additiv auswirkt. Folge davon sind Gangunterschiede und Lageverschiebungen der das Bild am Wafer erzeugenden Strahlenbündel und damit eine Verschlechterung des Bildes.

Der Effekt ist zwar klein, spielt aber bei den Auflösungen im Bereich unter $0,5 \mu\text{m}$ und den Wellenlängen im DUV, für den derartige katadioptrische Projektionsobjektive vorgesehen sind, schon eine störende Rolle.

Auch am Konkavspiegel tritt der Effekt prinzipiell auf, wegen der wesentlich kleineren Umlenkung bleibt er aber sehr klein.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Abbildungsqualität eines Objektivs mit Umlenkspiegel unabhängig von den Polarisierungseigenschaften des Lichts zu machen, insbesondere rotationssymmetrische Verteilungen der Polarisierung zuzulassen. Dies gilt besonders für Projektionsobjektive im DUV.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein katadioptrisches Objektiv nach Anspruch 1.

Die Erfindung geht aus von der Erkenntnis, daß die Polarisierungseffekte an Umlenkspiegeln bei der Abbildungsleistung hochwertiger Objektive, insbesondere mikrolithographischer Projektionsobjektive, nicht unberücksichtigt bleiben können. Phasenverschiebung und Seitenversatz für gegenüber der Einfallsebene am Umlenkspiegel verschieden polarisiertes Licht sind zu berücksichtigen, da sie zu erheblichen Bildstörungen führen können.

Mindestens im Strahlengang vorn letzten Objektivelement zur Bildebene ist aber – hauptsächlich bei großen numerischen Aperturen von 0,5 und darüber – eine zur optischen Achse rotationssymmetrische Polarisierung (radiale, zirkulare) notwendig, da sonst die Einkopplung in den Lichtempfänger (Resist) azimutal variiert.

Zur Kompensation der Polarisierungseffekte stehen windschiefe Paarungen der Spiegel und phasenkorrigierende dielektrische Schichten zur Verfügung.

An den bei katadioptrischen Systemen Korrektur- und Abbildungswirksam gekrümmten Spiegeln liegen regelmäßig kleine Ablenkwinkel vor, bei denen dieser Polarisations-Störeffekt geringfügig bleibt. Anders ist dies jedoch bei Umlenkspiegeln.

Den gleichen Erfindungsgedanken in verschiedenen vorteilhaften Ausformungen spiegeln die nebengeordneten Ansprüche 2 bis 5 und 11 wieder. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche 6 bis 10 und 12 bis 15. Diese betreffen insbesondere die Ausbildung als DUV-Mikrolithographie-Projektionsobjektiv mit Zwischenbild vom abgewandelten Schupmann-Achromat-Typ, bei dem die Erfindung besonders vorteilhaft zur Anwendung kommt.

Eine derartige Projektionsbelichtungsanlage ist Gegenstand des Anspruches 16, vorteilhafte Weiterbildungen davon sind in den Ansprüchen 17 bis 20 wiedergegeben. Wichtig ist dabei die Freiheit in der Wahl des Polarisationszustands des Lichts im Projektionsobjektiv.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung. Diese zeigt in

Fig. 1 schematisch ein Objektiv mit windschiefen Umlenkspiegeln;

Fig. 2a, 2b zwei Ansichten eines Prismas mit windschiefen Umlenkflächen;

Fig. 3 schematisch ein Objektiv mit Phasenkorrektur-Spiegelbeschichtung; und

Fig. 4 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlage.

Die Zeichnung Fig. 1 zeigt eine Objektebene 1, in der eine Maske (Reticle) der Mikrolithographie angeordnet werden kann, eine Linse 2, einen ersten planen Umlenkspiegel 3, einen zweiten planen Umlenkspiegel 4, eine Linsengruppe 5, einen Konkavspiegel 6, einen dritten planen Umlenkspiegel 7 – dieser kann mit dem Umlenkspiegel 4 komplanar vereinigt sein –, einen vierten planen Umlenkspiegel 8, eine zweite Linsengruppe 9, eine Zwischenbildebene IM1, eine vierte Linsengruppe 10 (refraktives Teilobjektiv) und die Bildebene IM, in der der zu belichtende Wafer mit einer Resistschicht angeordnet werden kann.

Bis auf die Umlenkspiegel 4 und 7 entspricht die Anordnung einem katadioptrischen Objektiv der oben genannten Art, z. B. der EP 0 736 789 A2.

Erfindungsgemäß sind jedoch die Umlenkspiegel 4 und 7 angeordnet, deren Einfallsebenen nicht komplanar sind mit den planen Umlenkspiegeln 3 und 8. Vorzugsweise sind die Einfallsebenen der Umlenkspiegel 4 und 7 senkrecht zu den Einfallsebenen der Umlenkspiegel 3 und 8. Das Licht durchläuft also nacheinander drei nicht komplanare, vorzugsweise zueinander senkrechte Richtungen. Durch die dementsprechenden Umlenkungen wird die oben beschriebene Kompensation polarisationsabhängiger Effekte an den Umlenkspiegeln 3, 4, 7, 8 bewirkt und das Objektiv kann mit Licht beliebiger Polarisation betrieben werden.

Vorzugsweise, zur Erleichterung der Herstellung und Justage, werden die beiden Spiegel 4 und 7 als ein gemeinsames planes Teil ausgeführt.

Die Fig. 2a und 2b zeigen Aufsicht und Seitenansicht eines Porro-Prismas 20, das mit seinen reflektierenden Flä-

chen 21 und 23 die Umlenkspiegel 3 und 8 und mit der Fläche 22 die Umlenkspiegel 4 und 7 substituieren kann. Die reflektierenden Flächen 21, 22, 23 sind vorzugsweise mit einer Schutzschicht versehen.

Fig. 3 zeigt ein katadioptrisches Objektiv vom Offner-Typ, wie es als 1 : 1 Projektionsobjektiv in der Mikrolithographie eingeführt ist. Auch dieses weist zwei plane Umlenkspiegel 33, 37 auf, welche für eine praktisch vorteilhafte Anordnung von Objektebene 1 und Bildebene IM und optischem System, bestehend aus Linsengruppen 32, 35 und gekrümmten Spiegeln 34, 36, sorgen.

An sich bekannte phasenkorrigierende dielektrische dünne Schichten 331, 371 ergeben hier eine Kompensation polarisations-spezifischer Effekte bei der Reflexion an den Umlenkspiegeln 33, 37, ohne daß zusätzliche spiegelnde Elemente eingebaut werden müssen.

Diese phasenkorrigierenden Schichten sind jedoch schwierig herzustellen für große Strahldivergenzen und kleine Wellenlängen. Je nach Bedeutung dieser Parameter wird der Fachmann also die Ausführung mit zusätzlichen windschiefen Umlenkspiegeln (bzw. Porro-Prismen) nach den Fig. 1 oder 2a, 2b bevorzugen.

Fig. 4 gibt einen schematischen Überblick über eine erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlage. Eine Lichtquelle LS – bevorzugt ein Excimer-Laser im DUV –, eine Beleuchtungsoptik IL, ein Retikel 1 mit Halter und Justier/Scan-Einheit 11 bekannter Art werden mit einem erfindungsgemäßen Projektionsobjektiv 8 mit planem Umlenkspiegel 3 und Kompensationsspiegel 4' verbunden und erzeugen in der Bildebene IM auf einem Objekt OB – z. B. einem Wafer für mikroelektronische Schaltungen – ein Belichtungsmuster. Das Objekt OB ist ebenfalls verbunden mit einer Halte-, Justage- und Scaneinheit 111.

Aus dem Projektionsobjektiv 8 tritt das bildgebende Lichtbündel LB unter Azimutwinkeln φ aus. Für die Belichtung ist es vorteilhaft, wenn die Polarisation des Lichts unter jedem Azimutwinkel φ bezogen auf die Einfallsebene zum Objekt OB gleich ist. Dies wird mit einer erfindungsgemäßen Kompensation der Polarisations-eigenschaften des Umlenkspiegels 3 – im Beispiel durch den Umlenkspiegel 4' – ermöglicht.

Die erfindungsgemäße Anordnung eignet sich besonders für kleinste Strukturen im Submikrometer-Bereich für hochaperturige Objektive (NA > 0,5). Auch unter den dann steilen Auftreffwinkeln am Objekt werden Unregelmäßigkeiten der Lichteinkopplung vermieden.

Patentansprüche

1. Katadioptrisches Objektiv, insbesondere mikrolithographisches Projektionsobjektiv, mit planen Umlenkspiegeln (37) und/oder Umlenkprismen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Umlenkspiegel (37) und/oder Umlenkprismen polarisationsunabhängig kompensiert sind.
2. Objektiv mit einem ersten Umlenkspiegel (3), dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Umlenkspiegel (4) mit nicht paralleler Einfallsebene dem ersten (3) nachgeordnet ist.
3. Projektionsobjektiv mit Umlenkung der optischen Achse (OA), dadurch gekennzeichnet, daß die optische Achse (OA) in mindestens drei nicht komplanare Richtungen (x, y, z) gelenkt wird.
4. Objektiv mit mindestens einem Umlenkspiegel (33) oder einem Umlenkprisma mit dünnen Schichten (331), dadurch gekennzeichnet, daß die dünnen Schichten (331) hinsichtlich Strahl-Geometrie und Phase gleiche Reflexion von in der Einfallsebene und

senkrecht dazu polarisiertem Licht bewirken.

5. Objektiv mit mindestens einem Umlenkspiegel (333), dadurch gekennzeichnet, daß es unabhängig vom Polarisationszustand des einfallenden Lichts hinsichtlich Strahlgeometrie und Phase gleiche Eigenschaften aufweist.
6. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv ein katadioptrisches Objektiv ist.
7. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1–6, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv ein Zwischenbild aufweist.
8. Objektiv nach Anspruch 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß es vom Typ abgewandelter Schupmann-Achromat ist.
9. Objektiv nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß es als Projektionsobjektiv der Mikrolithographie für DUV-Licht ausgebildet ist, insbesondere für Wellenlängen von 100–250 nm.
10. Objektiv nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß es eine bildseitige numerische Apertur größer als 0,5, vorzugsweise größer als 0,6 aufweist.
11. Objektiv mit mindestens einem Umlenkspiegel (3), gekennzeichnet durch die Kompensation polarisations-spezifischer Effekte bei der Spiegelung am Umlenkspiegel (3).
12. Objektiv nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß polarisations-spezifischer Seitenversatz kompensiert wird.
13. Objektiv nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein nachgeordneter zweiter Umlenkspiegel (4) die Kompensation bewirkt.
14. Objektiv nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite Umlenkspiegel (3, 4) nicht parallele Einfallsebenen aufweisen.
15. Objektiv nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Umlenkspiegel polarisations-spezifische dünne Schichten trägt.
16. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie mit Projektionsobjektiv (P) mit Umlenkspiegel (3), dadurch gekennzeichnet, daß Licht im Projektionsobjektiv (P) nicht linear polarisiert ist und
 - der Polarisationszustand der aus dem Projektionsobjektiv (P) auf dem Bildfeld (IM) austretenden Lichtbündel (LB) für alle Azimutwinkel (φ) bezogen auf die Einfallsebene gleich ist.
17. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Projektionsobjektiv (P) nach mindestens einem der Ansprüche 1–13 ausgeführt ist.
18. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Licht im Projektionsobjektiv (P) unpolarisiert ist.
19. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Licht im Projektionsobjektiv (P) radial polarisiert ist.
20. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Licht im Projektionsobjektiv (P) zirkular polarisiert ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

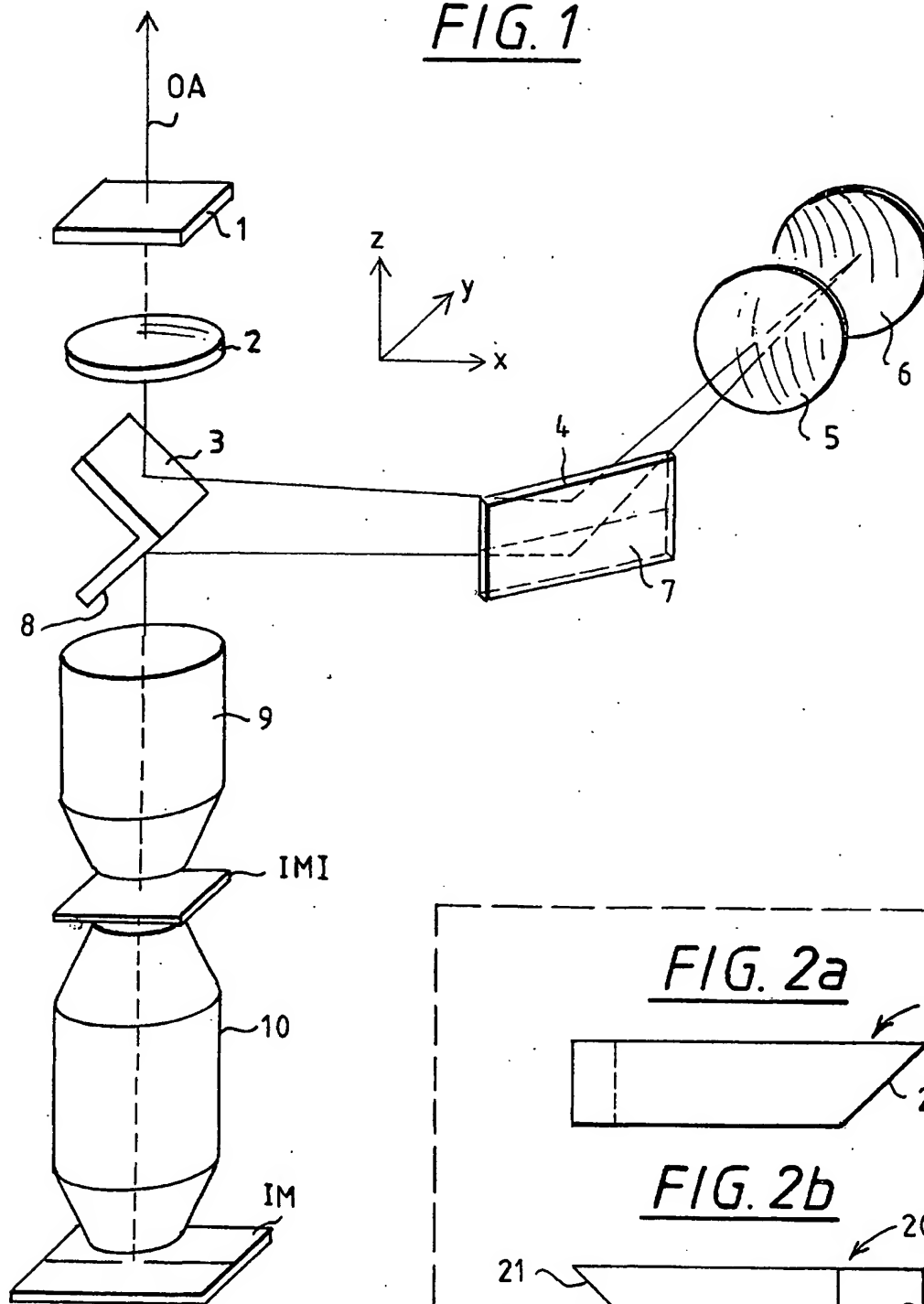


FIG. 3

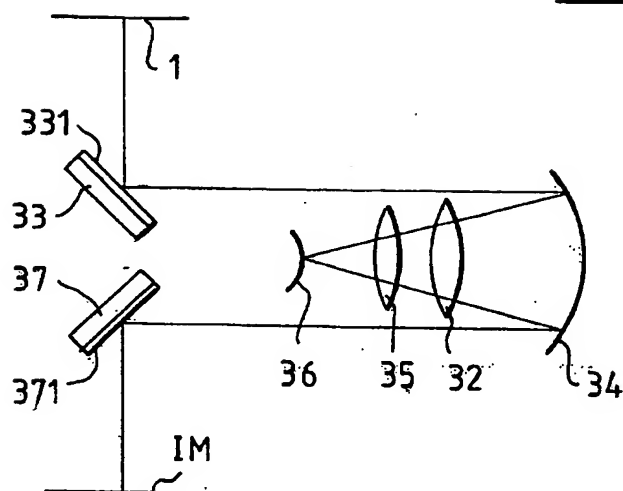


FIG. 4

